



## Evaluation of the Impact of Rain Gauge Network Density on Precipitation Distribution Modelling in Türkiye: A Case Study of Antalya Basin

Hasan Hüseyin Aksu<sup>1,a,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Architecture and Urban Planning, GIS Division, Bucak Emin Gülmez Vocational School of Technical Sciences, Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Burdur, Türkiye

\*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Research Article</i></p> <p>Received : 26.08.2023 Accepted : 26.02.2024</p> <p><i>Keywords:</i> Antalya Basin Rain gauge Geo-statistics Precipitation GIS</p>	<p>Accurate precipitation patterns and potential data are fundamental for water resources management, planning, and developing studies. Precipitation has the most spatial and temporal variance than other climate elements. Therefore, a denser observation network than the other climate elements is needed for rainfall. This study aims to determine the effect of the rain gauge network density and location on precipitation pattern, amount, and volume in the Antalya Basin. To this end, two different data sets were used in the study. In Data Set-1, precipitation data from State Meteorological Service (MGM) stations were used. In Data Set-2, precipitation data from MGM and State Hydraulic Works (DSI) stations were combined and used. The most widely used geostatistical Ordinary Kriging (OK) method was utilized for spatial interpolation of precipitation data. The accuracy of the data sets was tested using the cross-validation technic and the results were compared using Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE) Coefficient of Determination (<math>R^2</math>), and Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE). With the Data Set-1, NSE: 0,64, <math>R^2</math>: 0,64, MAE: 123,75, and RMSE were calculated as 145,83. With the Data Set-2, NSE: 0,77, <math>R^2</math>: 0,77, MAE: 111,55, and RMSE were calculated as 135,22. Compared to Data Set-1, Data Set-2 has lower error rates and higher accuracy. Combining the data from MGM and DSI provided rain gauge density and homogeneity in the study area. At the same time, this application also increased the success of the interpolation method. The areal precipitation depth of the Basin was calculated to be 763 mm with the MGM stations, it was 887.1 mm with the Data Set-2. The use of DSI rain gauges has modified the precipitation pattern and potential of the Antalya Basin.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 12(5): 814-820, 2024

## Türkiye'de Yağış Ölçer Ağı Yoğunluğunun Yağış Dağılımı Modellemesine Etkisinin Değerlendirilmesi: Antalya Havzası Örneği

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Araştırma Makalesi</i></p> <p>Geliş : 26.08.2023 Kabul : 26.02.2024</p> <p><i>Anahtar Kelimeler:</i> Antalya Havzası Yağışölçer Jeoistatistik Yağış CBS</p>	<p>Yağış deseninin ve potansiyelinin doğru belirlenmesi su kaynakları yönetimi, planlaması ve geliştirilmesi açısından çok önemlidir. Yağışlar zamana ve yere göre en fazla değişkenlik gösteren iklim elemanıdır. Bu sebeple yağış ölçümlerinde diğer iklim elemanlarından daha sık ölçüm ağına ihtiyaç duyulur. Bu çalışmada yağış ölçer ağı sıklığı ve konumunun Antalya Havzasında yağış deseni, miktarı ve hacmine olan etkisinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu maksatla çalışmada iki farklı veri seti kullanılmıştır. Veri Seti-1'de sadece Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) istasyonlarına ait yağış verileri kullanılmıştır. Veri Seti-2'de MGM ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) istasyonlarına ait yağış verileri birlikte kullanılmıştır. Veri setlerinin mekânsal enterpolasyonunda, çok yaygın bir kullanım alanına sahip olan jeoistatistik Ordinary Kriging (OK) yöntemi uygulanmıştır. Veri setlerinin sonuçları çapraz doğrulama yöntemiyle ölçülmüş ve Ortalama Mutlak Hata (MAE), Ortalama Karekök Hatası (RMSE), Belirleyicilik Katsayısı (<math>R^2</math>) ve Nash-Sutcliffe etkinlik katsayısı (NSE) ile karşılaştırılmıştır. Veri Seti-1 ile NSE: 0,64, <math>R^2</math>: 0,64, MAE: 123,75 ve RMSE: 145,83; Veri Seti-2 ile NSE: 0,77, <math>R^2</math>: 0,77, MAE: 111,55 ve RMSE: 135,22 olarak hesaplanmıştır. Veri Seti-1 ile karşılaştırıldığında Veri Seti-2'nin hata miktarları daha düşük, doğruluğu ve çalışma alanını temsil etmesi daha yüksektir. MGM ve DSİ istasyonlarının birleştirilerek kullanılması çalışma alanında istasyon ağı sıklığı ve homojenliği sağlamıştır. Bu uygulama enterpolasyon metodunun da başarısını artırmıştır. Havzanın alansal ortalama yağış miktarı MGM istasyonlarıyla 763 mm, Veri Seti-2 istasyonlarıyla 887,1 mm olarak hesaplanmıştır. DSİ yağış istasyonu verilerinin kullanımı Antalya Havzanın yağış deseni ve potansiyelinde büyük farklılıklar oluşturmuştur.</p>

<sup>a</sup> [haksu@mehmetakif.edu.tr](mailto:haksu@mehmetakif.edu.tr)

<https://orcid.org/0000-0003-3649-7242>



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

## Giriş

Yağışlar hayat kaynağı olan tatlı suların ana kaynağını oluşturmaktadır. Bir ülke, bölge veya havza için oluşturulan su politikalarının ve su potansiyeli hesaplarının birinci basamağı ve temel girdisi de yağışlardır. Başta sürdürülebilir su kaynakları kullanımı olmak üzere sel, kuraklık, havza yönetimi, iklim değişikliği, enerji ve tarımsal sulama planlaması gibi pek çok çalışmada gerçeğe en yakın yağış değerlerinin belirlenmesi ve kullanılması çok önemlidir (Li ve ark., 2021; Simoyama ve ark., 2023; Du ve ark., 2023)

Yağışlar zamana ve yere göre en çok değişkenlik gösteren iklim elemanıdır. Bu nedenle yağış ölçümlerinde diğer iklim elemanlarından daha sık ölçüm istasyonu ağına ihtiyaç vardır. Yağış miktarı ölçümleri belirli bir noktada yapılmakta ve yapıldığı noktayı temsil etmektedir. Başta maliyet olmak üzere coğrafik ve teknolojik sebeplerden dolayı yeryüzünün istenilen bütün noktalarına rasat istasyonu kurma imkânı bulunmamaktadır. Çalışmalarda istasyonların noktasal yağış verilerinden mekânsal enterpolasyon yöntemleriyle elde edilen alansal yağış değerleri kullanılmaktadır (Zeng ve ark., 2018).

Yağışların mekânsal ve zamansal değişiminin doğru belirlenmesi için iki şart gerekmektedir. Birincisi çalışma alanını temsil edebilecek yeterliliğe sahip yağışölçer ağı, ikincisi en uygun enterpolasyon yöntemidir.

Su kaynaklarının planlanması sırasında veri toplama faaliyetleri en önemli aşamalardan biri olup yapılacak çalışmanın temelini teşkil etmektedir. Uzun yıllar alan belirli bir sistematik ve standart içerisinde toplanması gereken verilerin güvenilirliği yapılan çalışmanın kalitesini doğrudan etkilemektedir. Homojen olmayan, çalışma alanından uzakta bulunan veya sayıca yetersiz yağış verilerinin kullanılması çalışmalarda ciddi eksiklikler oluşturabilmektedir (Girons Lopez ve ark., 2015; Sattari ve ark., 2017).

Son yıllarda geleneksel istasyon bazlı yağış ölçümlerinin yanı sıra uzaktan algılama yöntemlerinden yararlanarak, meteorolojik radar ve uydularla da yağış ölçümü yapılabilmektedir (Akgül & Aksu, 2021). İstasyon bazlı ölçümler doğrudan ölçümler olup yüksek kalite ve doğruluktur. Ayrıca uydu ve radarla yapılan yağış ölçümlerinin kontrol ve kalibrasyonu da istasyon bazlı ölçümlerle yapılmaktadır. Bu nedenlerle homojen dağılımlı ve yeterli yoğunlukta bir istasyon ağı yağışın doğru ölçülmesi için esastır (Zhou ve ark., 2022).

Sık ölçüm ağı örnekleme hatalarını azaltır fakat gözlem masraflarını artırır (St-Hilaire ve ark., 2003; Tabatabaei ve ark., 2022). Dolayısıyla en uygun ölçüm ağının belirlenmesi gerekir. Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) değişik iklim ve bölgeler için minimum istasyon yoğunluğu standartlarını belirleyerek bu konuda tavsiyelerde bulunmaktadır. Buna göre Türkiye gibi coğrafyaların düz bölgeleri için her 600-900 km<sup>2</sup>; dağlık bölgeleri için 100-250 km<sup>2</sup>'de bir istasyon bulunması ve gözlem süresinin en az 30 yıl olması tavsiye edilmektedir (WMO, 2008). 780000 km<sup>2</sup> alana sahip olan Türkiye'nin WMO tavsiye standartlarına göre yaklaşık 3100 yağış kayıt istasyonuna gereksinimi vardır.

Yağış verileri kullanılarak Türkiye'de yapılan pek çok çalışmada yağış istasyonu sıklığının ve homojenliğinin istenilen seviyede olmadığı belirtilmiştir. Bostan & Akyürek (2007), MGM'nin 225 klima İstasyonunun 1970-2003 yılları

arası yıllık yağış verilerini kullanarak, Türkiye'de yağışın mekânsal dağılımını belirlemeye çalışmışlardır. İstasyon yoğunluğunun havzalara homojen dağılmadığını ve sayıca yetersiz olduğunu belirtmişlerdir. Sayıca yetersiz ve dağılımı düzensiz istasyon kullanılmasının değerin üstünde ve altında yağış tahmini yapmaya sebep olarak göstermişlerdir. İstasyon sayısı yetersizliğini giderip çalışmaların doğruluğunu artırmak için sinoptik meteoroloji istasyonlarının verisinin de kullanılmasını önermişlerdir. Türkoğlu ve ark., (2016) Farklı enterpolasyon teknikleriyle Türkiye'deki yağışın mekânsal dağılımını incelemişlerdir. Çalışmalarında MGM'ye ait 276 istasyonun 1970-2014 arası yıllık yağış verilerini kullanmışlardır. Türkiye'de meteoroloji istasyon sayısının yetersiz olduğunu, homojen dağılmadığını ve yüksek kotlarda yok denecek kadar az bulunduğunu belirtmişlerdir. Raja ve ark., (2017), 228 MGM istasyonunun yıllık yağış verisini kullanarak Türkiye'de yağışın 1976-2010 periyodundaki zamansal ve mekânsal değişim analizini yapmışlardır. Çalışmada Türkiye'nin çoklu iklim sistemi, heterojen ve yetersiz meteorolojik gözlem ağı nedeniyle yağış dağılımı değerlendirmesinin zorlaştırdığını bildirmişlerdir.

Türkiye'de meteorolojik parametrelerin ölçülmesi, değerlendirilmesi ve yayınlanması MGM tarafından yapılmaktadır. Bu sebeple yağış verisi gerektiren çalışmalarda MGM verileri kullanılmaktadır. MGM meteorolojik rasatlarını 2000'li yılların başına kadar geleneksel metotla insanlı (manuel) olarak il ve ilçe merkezlerine yapmıştır. Yerleşim merkezli bu geleneksel istasyonlar Türkiye geneline homojen dağılamamış ve yüksek kotlarda da yeterli sayıya ulaşamamıştır. Türkiye'de 2000 yıllardan başlayarak günümüze kadar yaklaşık 2000 noktaya Otomatik Meteorolojik Gözlem İstasyonu (OMGİ) kurulmuştur. OMGİ'lerin kurulum yerleri veri sıklığı ve homojenliği sağlayabilecek şekilde planlanmıştır. Ancak bu istasyonların kayıt süreleri yeterli uzunluğa erişmediği için çalışmalarda henüz kullanılamamaktadır.

Diğer taraftan, Türkiye'de bütün su kaynaklarının işletme ve yönetiminden sorumlu kurum olan DSİ, kendi çalışmalarında kullanmak amacıyla havza esaslı olarak akarsu, göl, gölet ve baraj gibi kırsal alanlarda hidrometeorolojik rasatlar yapmaktadır. İki kurumun da yağış ölçüm metotları aynıdır. Kentsel MGM istasyonları ile kırsal DSİ istasyonları kısmen veri sıklığı ve homojenliği sağlamakta ve birbirini tamamlamaktadır.

Literatürde MGM ve DSİ yağış verilerinin birlikte kullanıldığı çalışmalar vardır (Çetin & Tülüçü, 1997; Aksu & Güngör, 2020; Aksu, 2023a; Aksu, 2023b). Fakat MGM verileriyle oluşturulan yağış deseni ile MGM ve DSİ istasyonlarının birlikte kullanılarak oluşturulan yağış desenlerinin karşılaştırıldığı bir çalışma bulunmamaktadır.

Bu çalışmada yağış istasyon ağının ve konumunun Antalya havzasında yağış deseni, miktarı ve hacmine olan etkisinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu maksatla 2 ayrı veri seti kullanılmıştır. Veri Seti-1'de sadece MGM istasyonlarına ait yağış verileri kullanılmıştır. Veri Seti-2'de MGM ve DSİ istasyonlarına ait yağış verileri birlikte kullanılmıştır. Veri setlerinin mekânsal enterpolasyonunda jeostatistik OK yöntemi kullanılmıştır. Veri setlerinin sonuçları çapraz doğrulama ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın diğer amacı veri sıklığının enterpolasyon yöntemi sonuçlarına etkisinin araştırılmasıdır.

Antalya Havzasında yağış değişimine etki eden dağların uzanış şekli, yükselti basamakları ve denize yakınlık gibi topografik özelliklerin hemen hemen hepsi bulunmaktadır. Aynı zamanda Antalya Havzası iklim değişikliğine en hassas olan Akdeniz Havzasında bulunmaktadır (WWDR, 2020). Tarım iklim değişikliği ve kuraklıktan en çok etkilenecek sektörlerdendir. İklim değişikliği senaryoları doğrultusunda doğru su bütçesi yapabilmek ve ürün deseni planlamak için mevcut yağış potansiyelini gerçeğe en yakın ortaya çıkarmak büyük önem taşımaktadır.

## Materyal ve Yöntem

### Çalışma Alanı

Antalya Havzası Türkiye'deki 25 ana havzadan biridir. Sahip olduğu 20251,9 km<sup>2</sup> yüzey alanı, Türkiye yüzölçümünün yaklaşık %2,6'sını oluşturmaktadır. Antalya Havzasını çevreleyen havzalar Batı Akdeniz, Burdur, Büyük Menderes, Akarçay, Konya ve Doğu Akdeniz'dir (Şekil 1). Havza idari olarak Antalya, Isparta ve Burdur il sınırları içerisinde yer almaktadır. Isparta'nın %70'ini, Antalya'nın %58'ini ve Burdur'un %30'unu içine alır (SYGM, 2018).

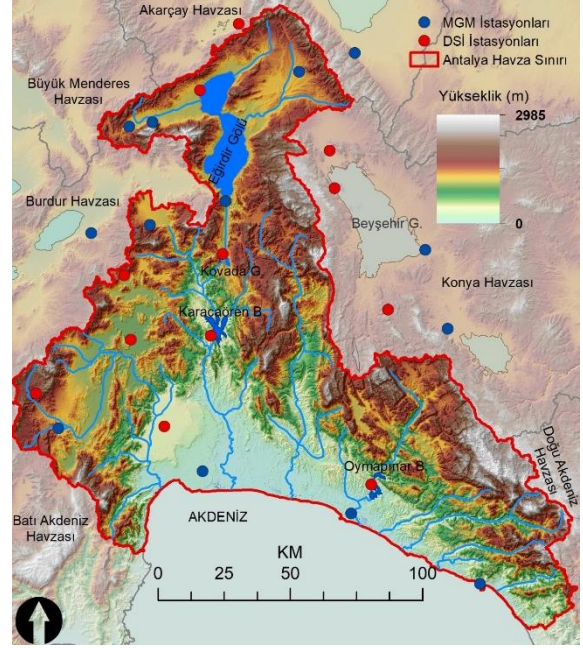
Topografik olarak havza batı, kuzey ve doğusundan yüksek dağlarla, güneyinden denizle (Antalya Körfezi) çevrelenmiştir. Rakımı deniz seviyesi ile 3000 m arasında değişmekte olup büyük yükseklik farklılığına sahiptir. Uzunluğu kuzey-güney doğrultusunda yaklaşık 200 km, genişliği batı-doğu doğrultusunda yaklaşık 170 km'dir. Eğirdir gölünün güneyi havzanın en dar (yaklaşık 30 km) alanını oluşturmaktadır.

Antalya Havzası su kaynakları bakımından en zengin havzalarındandır. Havzanın içinde bulunduğu Toros Dağlarından doğup güneyindeki Akdeniz'e dökülen çok sayıda ırmak bulunmaktadır. Aksu Çayı, Manavgat Çayı, Köprüçay bunlardan bazılarıdır. Eğirdir, Kovada ve Gölçük gibi doğal göllerin yanı sıra Karacaören, Manavgat, Oymapınar ve Korkuteli gibi baraj gölleri de havzanın su kaynakları arasındadır.

İklim açısından Antalya Havzasında Kovada Gölünün güneyi ile Antalya Körfezi arasında gerçek Akdeniz iklimi özellikleri olan çok yağışlı, ılık bir kış ve sıcak kurak bir yaz hüküm sürmektedir. Havzanın Kovada Gölünün kuzeyinde bulunan alanlarında ise Akdeniz geçiş (Akdeniz'den İç Anadolu'ya) iklim özellikleri olan orta yağışlı bir kış ve ilkbahar hüküm sürmektedir (Türkeş, 2010). Havza yıllık ortalama yağışının %23'ünü ilkbahar, %4,4'ünü yaz, %21,4'ünü sonbahar ve %51,2'sini kış mevsiminde almaktadır (Aksu, 2023a). Havzada sıcaklık güneyden kuzeye ve yükseklikte azalmaktadır. En büyük yerleşim yeri olan sahildeki Antalya'nın yıllık ortalama sıcaklığı 18,8°C, Isparta'nın 12,3°C'dir (MGM, 2024).

Tarım Antalya Havzasının ekonomisinde ön plandadır. Havzanın güneyinde yer alan Antalya Ovası tarımsal potansiyel ve ekolojik uygunluk açısından Türkiye tarımında önemli bir yere sahiptir. Havza içerisinde 249530 hektarı Antalya'da, 147260 hektarı Isparta'da, 33280 hektarı Burdur'da olmak üzere toplam 430070 hektar tarım alanı bulunmaktadır (SYGM, 2018). Mevcut durumda Havzanın su varlığının %83'ü tarım sektöründe kullanılmaktadır (DSİ, 2016). Verimi yüksek olan Antalya ovasında tarım ürünleri de çeşitlidir. Başlıcaları narenciye, muz, zeytin, pamuk, mısır, susam, yer fıstığı, çeşitli sebzeler, arpa, buğday, yulaf ve patates olarak sayılabilir (SYGM, 2016). Diğer taraftan

Türkiye'de yetişen gültün %80'i, elmanın %20'si havzanın kuzeyinde bulunan Isparta'da yetişmektedir. Havzada sera alanları da önemli yer kaplamaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanı ve çalışmada kullanılan MGM ve DSİ istasyonları konum haritası

Figure 1. Study area and locations of the MGM and DSİ stations

### Materyal

Çalışmada iki veri seti kullanılmıştır. Veri Seti-1'de sadece MGM istasyonları kullanılmıştır. Veri Seti-2'de MGM ve DSİ istasyonları birlikte kullanılmıştır. Birinci veri seti toplam 17; ikinci veri seti toplam 30 istasyonun yağış verisinden oluşmaktadır. Yağış istasyonlarının 17 adedi havza içerisinde, 13 adedi havzanın dışında olup sınıra yakındır (Şekil 1). Havza içerisindeki plüviyometrelerin 9'u MGM'ye, 8'i DSİ'ye aittir. Çalışmada kullanılan istasyonların bilgileri Çizelge 1'de sunulmuştur. İstasyonların 1981-2000 yılları arası kesintisiz 20 yıllık gözlem verilerinden yıllık ortalama yağışları hesaplanarak kullanılmıştır.

### Metot

Genel tanımıyla enterpolasyon teknikleri, değişkenlerin ölçümü yapılan noktalardaki verilerinden yararlanarak, ölçümü olmayan noktalardaki değerlerini hesaplamakta ve türetmede kullanılan yöntemlerdir (Li ve Revesz, 2004). MGM 2015 yılından itibaren yağış ve diğer meteorolojik elemanların enterpolasyon işlemlerini OK yöntemiyle yapmaktadır. Bu sebeple bu çalışmada yıllık yağışların alansal enterpolasyonunda jeoistatistik OK yöntemi kullanılmıştır. Tekniğin uygulanmasında, yağışların mekânsal dağılım haritalarının oluşturulmasında ve analizlerinde ArcGIS 10.8 CBS yazılımının jeoistatistiksel analiz araçlarından faydalanılmıştır.

Jeoistatistiksel OK yönteminin temelini, değişkenlerin mekânsal bağımlılık durumları modelleyen yarivariogram analizi oluşturmaktadır (Goovaerts, 1997). İlk adım olarak ölçülen yağış verilerinden yararlanılarak deneysel (experimental) yarivariogram modeli hesaplanarak oluşturulur. İkinci adımda teorik variogram analizi yapılır. İlk adımda elde edilen deneysel variogram modelinin üzerine matematiksel fonksiyona dayanan en uygun teorik

variogram modeli oturtulur. Bu çalışmada Gaussian teorik variogram en uygun modeli oluşturmuştur. Deneysel ve Gaussian teorik variogram denklemleri aşağıda verilmiştir (Goovaerts, 2008; Webster & Oliver, 2017).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(R_i) - Z(R_i + h)]^2 \quad (1)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[ 1 - \exp\left(\frac{-3h^2}{a^2}\right) \right] h \geq 0 \quad (2)$$

Denklemlerde  $\gamma(h)$ : yarivaryans fonsiyonudur;  $h$ : gözlem çiftlerinin arasındaki Öklid mesafesidir;  $Z(R_i)$ :  $i$  konumunda ölçülen yağış değeridir;  $Z(R_i + h)$ :  $i$  konumundan  $h$  mesafede ölçülen yağış değeridir;  $N(h)$ :  $h$  mesafedeki toplam istasyon çifti sayısıdır.  $a$ : etki uzaklığı;  $C_0$ : kontrolsüz etki;  $C_1$ : yapısal varyanstır.

Yağış değişkeninin teorik variogram modeli matematiksel denklemlerle belirlendikten sonra üçüncü adımda ölçüm verisi olmayan noktaların değeri OK yönteminin eşitliği yardımıyla türetilir (Denklem 3) (Goovaerts, 2008; Webster & Oliver, 2017).

$$\hat{Z}_{OK}(R_0) = \sum_{i=1}^N W_i^{OK} Z(R_i) \quad (3)$$

Burada  $\hat{Z}_{OK}(R_0)$ :  $R_0$  noktasında tahmin edilen yağış değeridir;  $W_i^{OK}$ : her bir  $Z(R_i)$ 'ye karşılık gelen ağırlık katsayısıdır;  $N$ : OK tahmininde kullanılan nokta sayısıdır.

#### Çapraz Doğrulama

Çapraz doğrulama mekânsal enterpolasyon tekniklerinin doğruluğunu belirlemede ve değerlendirmede kullanılan yöntemdir. Yöntemde ölçülmüş veriler ile

tahmin edilmiş veriler arasındaki ilişkiler incelenir (Isaak & Srivastava, 1989). Bu maksatla, bir gözlem istasyonunun ölçülen yağış değeri veri setinden geçici olarak çıkartılır. Geriye kalan diğer gözlem istasyonlarının verisi kullanılarak çıkartılan istasyonun yağış değeri tahmin edilir. Gerçek yağış ile tahmin edilen yağış miktarları arasındaki hata miktarları belirlenir. Bu işlem bütün ölçüm noktaları için ayrı ayrı yapılır. Gerçekleştirilen tahmin verilerinin değerlendirilmesinde çeşitli hata ölçüm yöntemleri kullanılmaktadır (Li & Heap, 2011; Berndt & Haberland, 2018). Bu maksatla bu çalışmada, Ortalama mutlak hata (MAE), Ortalama karekök hatası (RMSE), Determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) ve Nash-Sutcliffe etkinlik katsayısı (NSE) kullanılmıştır. Bu tekniklerin formülleri aşağıda sunulmuştur.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_{\hat{0}_i} - Y_{T_i}| \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_{\hat{0}_i} - Y_{T_i})^2} \quad (5)$$

$$R^2 = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{\hat{0}_i} - \bar{Y}_{\hat{0}})(Y_{T_i} - \bar{Y}_T)}{[\sum_{i=1}^n (Y_{\hat{0}_i} - \bar{Y}_{\hat{0}})^2]^{1/2} [\sum_{i=1}^n (Y_{T_i} - \bar{Y}_T)^2]^{1/2}} \right\} \quad (6)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{\hat{0}_i} - Y_{T_i})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_{\hat{0}_i} - \bar{Y}_{\hat{0}})^2} \quad (7)$$

$Y_{\hat{0}}$ : ölçülen yağış miktarı;  $Y_T$ : tahmin edilen yağış miktarı;  $\bar{Y}_{\hat{0}}$ : ölçülen yağışın ortalaması;  $\bar{Y}_T$ : tahmin edilen yağışın ortalaması.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan yağış istasyonları

Table 1. Rain gauge stations used in the study

	İstasyon	Kurum	Numara	Kot (m)	Yağış (mm)	Enlem- Boylam
1	Alanya (havza içi)	MGM	17310	6	1139,2	36,550-31,983
2	Antalya (havza içi)	MGM	17300	64	1041,5	36,917-30,800
3	Eğirdir (havza içi)	MGM	17882	920	774,1	37,838-30,872
4	Isparta (havza içi)	MGM	17240	997	479,7	37,750-30,550
5	Korkuteli (havza içi)	MGM	17926	1017	347,6	37,050-30,183
6	Manavgat (havza içi)	MGM	17954	38	1115,4	36,783-31,433
7	Senirkent (havza içi)	MGM	17826	959	636,5	38,100-30,550
8	Uluborlu (havza içi)	MGM	17864	1025	596,5	38,083-30,450
9	Yalvaç (havza içi)	MGM	17828	1096	522,5	38,283-31,177
10	Gazipaşa	MGM	17974	21	849,3	36,267-32,317
11	Hadim	MGM	17928	1552	662,2	36,983-32,467
12	Elmalı	MGM	17952	1095	445,1	36,750-29,917
13	Akşehir	MGM	17239	1002	541,9	38,350-31,417
14	Beyşehir	MGM	17242	1141	480,7	37,683-31,733
15	Seydişehir	MGM	17898	1129	745,7	37,416-31,833
16	Burdur	MGM	17238	957	406,5	37,717-30,300
17	Tefenni	MGM	17892	1142	436,8	37,317-29,767
18	Oymapınar (havza içi)	DSİ	D09M009	20	1274,5	36,883-31,516
19	Kovada (havza içi)	DSİ	D09M019	915	1161,8	37,657-30,864
20	Gençali (havza içi)	DSİ	D09M001	930	325,2	38,212-30,750
21	Tekkeköy (havza içi)	DSİ	D09M007	1010	585,5	37,576-30,445
22	Yeleme (havza içi)	DSİ	D09M010	1500	406,2	37,166-30,083
23	Karaaliler (havza içi)	DSİ	D09M011	930	512,2	37,358-30,481
24	Karacaören (havza içi)	DSİ	D09M014	310	1288,2	37,378-30,822
25	Döşemealtı (havza içi)	DSİ	D09M016	300	885,6	37,066-30,633
26	Huğlu	DSİ	D16M025	1370	743,8	37,478-31,577
27	Gedikli	DSİ	D16M038	1130	601,1	37,889-31,340
28	Çeltek	DSİ	D16M035	1130	418,5	38,016-31,315
29	Koçbeyli	DSİ	D11M002	1065	552,1	38,441-30,912
30	Söğütköy	DSİ	D08M014	1410	408,9	37,041-29,824

## Bulgular ve Tartışma

Antalya havzasının topografik yapısı ve alanı göz önüne alındığında WMO standartlarına göre 23 ila 81 arasında yağış istasyonuna gereksinim vardır (WMO, 2008). Çalışma alanının sınırları içerisinde MGM'nin kullanılabilir nitelikte sadece 9 adet istasyonu bulunmaktadır. Bu durumda 1 istasyon 2250 km<sup>2</sup>'yi temsil etmektedir. MGM ve DSİ istasyonları birlikte kullanıldığında 1 istasyon 1191 km<sup>2</sup>'yi temsil etmektedir. DSİ istasyonlarının kullanımıyla istasyon sayısı %88,9 artırılmış ve WMO'nun tavsiye ettiği standartlara yaklaşmıştır.

Çalışmada kullanılan istasyonların yıllık yağış verilerinin tanımlayıcı istatistik değerleri Çizelge 2 de sunulmuştur. Sadece MGM istasyonlarından oluşan Veri Seti-1'de en yüksek yağış miktarı 1139,2 mm; en düşük yağış miktarı 347,6 mm; ortalaması 660,08 mm'dir. MGM ve DSİ istasyonlarının birleştirilmesiyle oluşan Veri Seti-2'de en yüksek yağış miktarı 1288,2 mm en düşük yağış miktarı 325,2 mm ve ortalaması 679,5 mm olarak hesaplanmıştır.

Standart sapmanın ortalama yağış ile karşılaştırıldığında ve diğer istatistik veriler göz önüne alındığında istasyonlar arasında yağış değişiminin yüksek olduğu görülmektedir.

OK metodunun veri setine uygulanabilmesi aşamasında deneysel ve teorik yarıvariogram analizi yapılmıştır. Her iki veri seti için de deneysel variogram modelleri üzerine Gaussian teorik yarıvariogram en uygun model olarak oturmuştur. Modellere ait parametreler Şekil 2'de verilmiştir. Mavi renkli artı işaretleri deneysel yarıvariogram modellerini; mavi düz çizgiler teorik variogram modellerini göstermektedir.

Çalışmanın bu adımında veri setleri ayrı ayrı kullanılarak yağış dağılım haritaları oluşturulmuştur (Şekil 3). Oluşturulan modellerin ve yöntemin çapraz doğrulama ile test edilen performans ve hata sonuçları Çizelge 3'te verilmiştir. Veri Seti-1'de NSE ve R<sup>2</sup> değeri: 0,64, MAE: 123,75 ve RMSE: 145,83 olarak hesaplanmıştır. Veri Seti-

2'de NSE ve R<sup>2</sup> değeri: 0,77, MAE: 111,55 ve RMSE: 135,22 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre: Veri Seti-2'nin hata oranları daha düşük ve R<sup>2</sup> değeri daha büyüktür. Birinci veri setiyle karşılaştırıldığında ikinci veri setinin doğruluğu ve çalışma alanını temsil etmesi daha yüksektir.

Yalnız MGM istasyon verileri (Veri Seti-1) kullanılarak oluşturulan yağış dağılım haritası Şekil 3A'da, MGM ve DSİ istasyon verilerinin birlikte kullanılmasıyla (Veri Seti-2) oluşan yağış dağılım haritası Şekil 3B'de gösterilmiştir.

Veri setlerinin yağış desenleri ve miktarları arasında büyük farklılıklar bulunmaktadır. Antalya Havzasının yağışı Veri Seti-1 ile oluşturulan haritada 416,8 mm ile 1112,0 mm arasında; Veri Seti-2 ile oluşturulan haritada 359,6 mm ile 1363,9 mm arasında değişmektedir. En az yağışlı alanlar her iki haritada da havzanın en batısıdır. Şekil 3A'da bu alanın yağış dağılımı 416,8 mm ile 500 mm arasında değişirken, Şekil 3B'de daha düşük değerler alıp, 359,6 mm ile 400 mm arasında değişmektedir.

Eğirdir ve Kovada Gölü çevresinin yağış dağılımı Şekil 3A'da 600-700 mm arasındadır. Şekil 3B'de aynı alanın yağışı 400 ile 1150 mm arasında değişmektedir. Şekil 3B'de Eğirdir Gölünün kuzeyi ortalama 400 mm, güneyi 800 mm, Kovada Gölü çevresi 1150 mm yağış almaktadır. Bu alanda yağış değişimi çok fazladır. Aynı zamanda Eğirdir Gölünün kuzeyi Antalya Havzasının az yağışlı kesimleri içerisinde yer almaktadır. Bu durum DSİ yağış verileriyle ortaya çıkmaktadır. Çünkü Eğirdir Gölünün kuzeyinde MGM istasyonu yoktur (Şekil 1).

Şekil 3A'da en yağışlı bölgeler 1000 mm ile 1112 mm arasında yağış miktarına sahip olan, havzanın güneydoğusunda yer alan sahile yakın alanlardır. Şekil 3B'de en yağışlı alanlar dağların denize (Antalya Körfezi) dönük güney bakılı alanlarının oluşturduğu geniş kesimlerdir. Bu alanlarda yağış yüksekliği 1150 mm ile 1364 mm arasındadır. Bu alanlarda istasyonların tamamı DSİ'ye aittir.

Çizelge 2. Veri setlerinin tanımlayıcı istatistik değerleri

Table 2. Descriptive statistics of the Data Sets

Veri Seti	En düşük	En yüksek	Genlik	Ortalama	Std. sapma
MGM Veri Seti-1	347,6	1139,2	791,6	660,08	249,83
MGM+DSI Veri Seti-2	325,2	1288,2	963,0	679,5	288,25
Veri Seti	Birinci çeyrek	Orta değer	Üçüncü çeyrek	Çarpıklık	
MGM Veri Seti-1	471,06	596,49	792,89	0,19	
MGM+DSI Veri Seti-2	445,07	590,98	849,32	0,84	

Çizelge 3. Veri setleri hata ve performans karşılaştırma tablosu

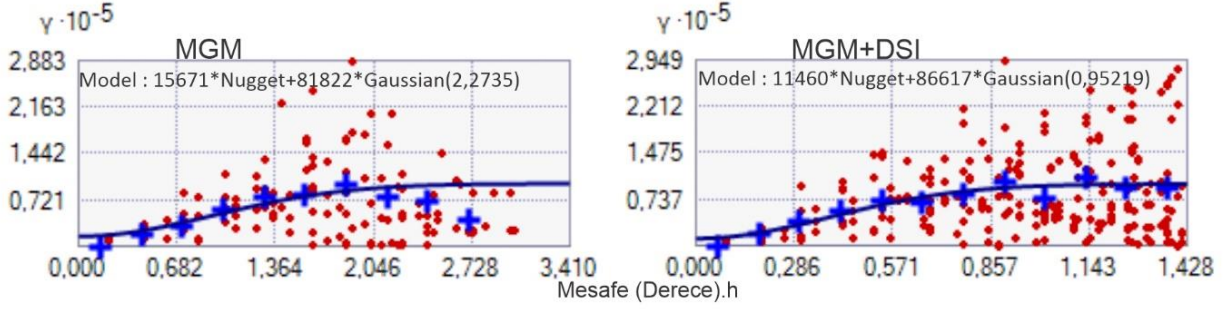
Table 3. Error and performance comparison table of the Data Sets

Veri Seti	MAE	RMSE	R <sup>2</sup>	NSE
Veri Seti-1	123,75	145,83	0,64	0,64
Veri Seti-2	111,55	135,22	0,77	0,77

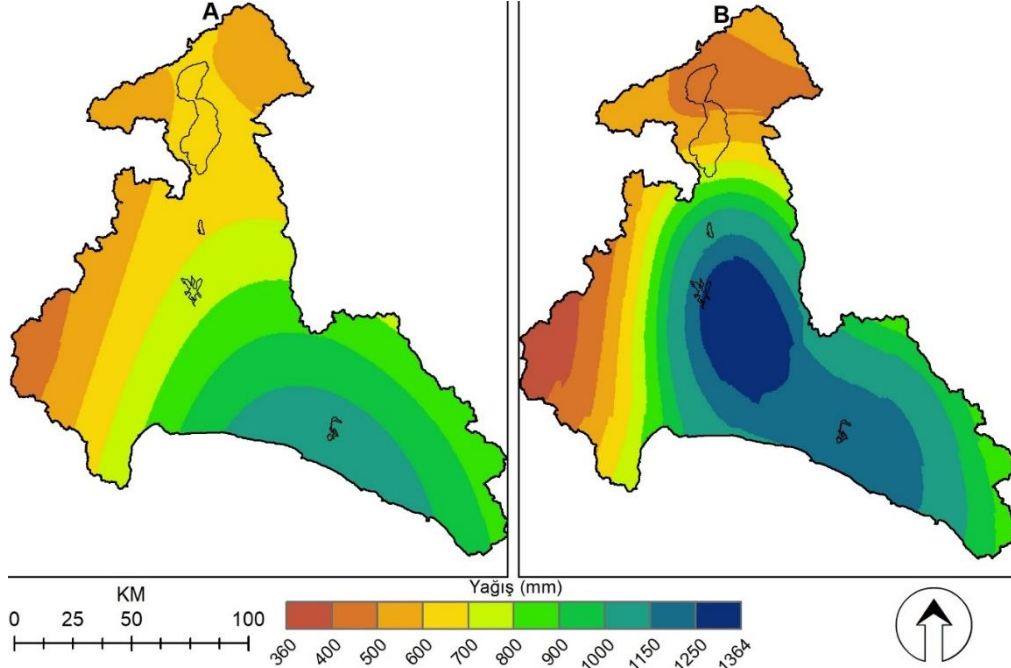
Çizelge 4. Veri setlerinin OK tabanlı yağış potansiyeli değerleri

Table 4. OK-based precipitations potential values of the data

Veri Seti	En düşük (mm)	En yüksek (mm)	Alansal Ort. (mm)	Yağış hacmi(milyar m <sup>3</sup> )
Veri Seti-1 (MGM)	416,8	1112,0	763,0	15,45
Veri Seti-2 (MGM+DSI)	359,6	1363,9	887,1	17,97



Şekil 2. Veri setlerine ait deneysel ve Gaussian yarı-variogram modelleri  
Figure 2. Experimental and Gaussian semi-variogram models of the data sets



Şekil 3. Veri Setlerinin yıllık yağış dağılım haritaları  
Figure 3. Annual precipitation pattern maps of the data sets

MGM verileriyle elde edilen yağış deseninde (Şekil 3A) yağışlar güneyden kuzeye yani denizden uzaklaştıkça azalmaktadır. Bu durum yağışın yükseklikle azaldığı anlamına da gelmektedir. En yağışlı alanlar kıyı kuşağıdır (Türkeş, 2010; Atalay, 2010, Şensoy ve ark., 2008). MGM ve DSI verilerini birlikte kullanılarak elde edilen yağış deseninde (Şekil 3B) yağışlar Şekil 3A deseninden farklı olarak güneyden kuzeye giderken önce dağların denize bakan güney yamaçlarında yükseklikle artmakta (yamaçlar kıyı kesiminden fazla yağış almakta) sonra mesafeyle azalmaktadır (Usul, 2017; Aksu, 2021; Aksu, 2023b).

Enterpolasyon sonrası oluşan havzanın genel yağış değerleriyle birlikte alansal yağış miktarı ve yağış hacmi de hesaplanmıştır (Çizelge 4). Veri Seti-1 ile havzanın alansal yağış miktarı 763,0 mm, hacmi 15,45 milyar m<sup>3</sup> hesaplanmıştır. Selek & Aksu (2020), aynı metot ve aynı veri setini kullanarak (havzadaki 9 MGM istasyonu) 1981-2010 periyodunda Antalya Havzasının alansal yağış miktarını 768,6 mm olarak hesaplamışlardır. Sonuçlar birbirine oldukça yakındır. Veri Seti-2 ile havzanın yağış miktarı 124,1 mm artışla 887,1 mm, yağış hacmi 2,52 milyar m<sup>3</sup> artışla 17,97 milyar m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. İki veri setin hesaplamaları arasında %16,3 yağış yüksekliği ve yağış hacmi farkı bulunmaktadır.

## Sonuç

Antalya Havzasında kullanılabilir nitelikteki MGM istasyonları sayıca yetersiz ve heterojen dağılımlıdır. İstasyonlar güneyde deniz kenarındaki yerleşim merkezleri ile kuzeydeki yerleşim merkezlerinde bulunmaktadır. Bu istasyonlar arasında yaklaşık 100 km'lik mesafe vardır. DSI istasyonları ise daha çok havzanın MGM istasyonu bulunmayan orta kesimlerinde yer almaktadır. İki kurumun yağış verileri birleştirildiğinde hem veri sıklığı hem de homojenliği sağlanmaktadır.

Havza içerisinde bulunan DSI istasyonlarının MGM istasyonları ile birlikte kullanımı Antalya Havzasının yağış deseninde büyük farklılıklar oluşturmuş, alansal ortalama yağış miktarını 763 mm'den 887,1 mm'ye; alansal yağış hacmini 15,45 milyar m<sup>3</sup>'ten 17,97 milyar m<sup>3</sup>'e çıkarmıştır.

Veri sıklığı uygulanan enterpolasyon yönteminin başarısını artırmış, ölçülen ve türetilen yağış miktarları arasındaki hata miktarını azaltmıştır.

Günümüzde OMGİ istasyonlarıyla birlikte Türkiye genelinde MGM'nin yaklaşık 2800 noktada yağış kaydı vardır. DSI'nin 715 noktada yağış rasadı vardır. İki kurumun toplamda 3500'ü geçen noktada yağış ölçümü bulunmaktadır. Ancak günümüzde WMO'nun rasat

periyodu uzunluğu ve kesintisiz kayıt yapma şartlarını sağlayan MGM'nin yaklaşık 250, DSİ'nin 140 istasyon verisi bulunmaktadır. Böylece Türkiye geneli için istasyon sıklığı %50'den fazla artırılabilir.

Türkiye'de Toros Dağlarının denize bakan güney yamaçları ülkenin en yağışlı alanları arasında olduğu bilinmektedir. Ancak istasyon eksikliği sebebiyle bu alanların gerçek yağış değeri yağış haritalarında gösterilememektedir. Bu alanlarda bulunan DSİ istasyonları ile bu eksiklik giderilebilir.

Yağış ölçümleri uzun yıllar almakta, yoğun emek ve maddi kaynak gerektirmektedir. Yağış istasyonlarının boşluklu yılları uygun istatistik yöntemlerle doldurulabilir.

## Kaynaklar

- Akgül, M. A., & Aksu H. (2021). Areal Precipitation Estimation Using Satellite Derived Rainfall Data over an Irrigation Area. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 9(2), 386-394.
- Aksu, H. H., & Güngör, A. (2020). Burdur ili yağış potansiyeli analizi ve değerlendirilmesi. *NÖHÜ Müh. Bilim. Derg.* 9(1), 308-322.
- Aksu, H. H. (2021). Basin-based precipitation potential of Turkey. *Arab. J. Geosci.* 14, 2470.
- Aksu, H. H. (2023a). Estimation and analysis of seasonal rainfall distribution and potential of Türkiye and Its 25 main watersheds. *Atmosphere* 14, 800. <https://doi.org/10.3390/atmos14050800>.
- Aksu, H. H. (2023b). Analysis of Monthly Precipitation at the Basin Scale in Türkiye. *Türk Tarım - Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 11(10), 1973-1985.
- Atalay, İ. (2010). *Uygulamalı Klimatoloji*. Meta Yayınevi, İzmir.
- Berndt, C., & Haberlandt, U. (2018). Spatial interpolation of climate variables in Northern Germany: Influence of temporal resolution and network density. *J. Hydrol. Reg. Stud.* 15, 184-202.
- Bostan, P. A., & Akyürek, S. Z. (2007). Spatial modelling of the mean annual precipitation of Turkey by using secondary variables. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi. Trabzon, Türkiye.
- Çetin, M., & Tülüöçü, K. (1998). Doğu akdeniz bölgesinde aylık yağışların yersel değişimlerinin jeostatistik yöntemle incelenmesi. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Science*. 22, 279-288.
- DSİ, (2016). Antalya Havzası Master Plan Ara Raporu, Ankara.
- Du, M., Huang, S., Leng, G., Huang, Q., Guo, Y., & Jiang, J. (2023). Multi-timescale-based precipitation concentration dynamics and their asymmetric impacts on dry and wet conditions in a changing environment. *Atmospheric Research*. 291, 106821. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2023.106821>.
- Girons Lopez, M., Wennerström, H., Nordén, L., & Seibert, J. (2015) Location and density of rain gauges for the estimation of spatial varying precipitation. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 97(1), 167-179. <https://doi.org/10.1111/geoa.12094>
- Goovaerts, P. (1997). *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University Press, New York, USA.
- Goovaerts, P. (2008). Kriging and semivariogram deconvolution in the presence of irregular geographical units. *Math Geosci.* 40, 101-128.
- Isaaks, E. H., & Srivastava, R. M. (1989). *Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York.
- Li, H., Wang, D., Singh, V. P., Wang, Y., & Wu, J. (2021). Developing an entropy and copula-based approach for precipitation monitoring network expansion. *J. Hydrol.* 598, 126366.
- Li, J., & Heap, A. D. (2011). Spatial interpolation methods applied in the environmental sciences: A review. *Environ. Model. Softw.* 53, 173-189.
- Li, L., & Revesz, P. (2004). Interpolation methods for spatio-temporal geographic data. *Comput. Environ. Urban Syst.* 28, 201-227.
- MGM, (2024). Erişim tarihi: (18 Şubat 2024). <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=ANTALYA>.
- Raja, N. B., Aydin, O., Türkoğlu, N., & Çiçek, İ. (2017). Space time kriging of precipitation variability in Turkey for the period 1976-2010. *Theoret Appl Climatol.* 129 (1-2), 293-304. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1788-8>
- Sattari, M. T., Rezazadeh-Joudi, A., & Kusiak, A. (2017). Assessment of different methods for estimation of missing data in precipitation studies. *Hydrol. Res.* 48 (4), 1032-1044.
- Selek, B., & Aksu, H. (2020). Water resources potential of Turkey, In: Harmancıoğlu N, Altınbilek D (eds) *Water Resources of Turkey, Vol 2, Springer, Cham*.
- Simoyama, F. O., Croope, S., Neto, L., & Santos, L. (2023). Optimization of rain gauge networks-A systematic literature review. *Socio-Economic Planning Sciences*, 86, 101469. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2022.101469>.
- St-Hilaire, A., Ouarda, T. B., Lachance, M., Bobée, B., Gaudet, J., & Gignac, C. (2003). Assessment of the impact of meteorological network density on the estimation of basin precipitation and runoff: a case study. *Hydrol. Process*, 17 (18), 3561-3580.
- SYGM, (2016). Antalya Havzası Taşkın Yönetim Planı, Ankara.
- SYGM, (2018). Antalya Havzası Kuraklık Yönetim Planı, Ankara.
- Şensoy, S., Demircan, M., Ulupınar, U., & Balta, İ. (2008). Türkiye İklimi. Erişim tarihi: (16 Nisan 2023). [https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/makale/31\\_climateofturkey.pdf](https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/makale/31_climateofturkey.pdf)
- Tabatabaei, S. M., Dastourani, M., Eslamian, S., Nazeri Tahroudi, M. (2022). Ranking and optimizing the rain-gauge networks using the entropy-copula approach (Case study of the Siminehrood Basin, Iran). *Appl Water Sci.* 12(9),1-13.
- Türkeş, M. (2010). *Klimatoloji ve Meteoroloji*. Kriter Yayınevi, İstanbul.
- Türkoğlu, N., Aydin, O., Duman, N., & Çiçek, İ. (2016). Türkiye'de yağışın farklı mekânsal enterpolasyon yöntemleriyle karşılaştırılması. *Journal of Human Sciences.* 13 (3), 5636
- Usul, N. (2017). *Mühendislik Hidrolojisi*. ODTÜ Yayıncılık, Ankara.
- Webster, R., & Oliver, M. A. (2007). *Geostatistics for Environmental Scientists*. John Wiley & Sons, Chichester. <http://dx.doi.org/10.1002/9780470517277>.
- WMO, (2008). World Meteorological Organization, Guide to Hydrological Practices, No:168
- WWDR, (2020). The United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change. UNESCO, Paris. Erişim tarihi: (18 Şubat 2024). <https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report-2020.pdf>
- Zeng, Q., Chen, H., Xu, C-Y., Jie, M-X., Chen, J., Guo, S-L., & Liu, J. (2018). The effect of rain gauge density and distribution on runoff simulation using a lumped hydrological modelling approach. *J Hydrol.* 563, 106-22.
- Zhou, L., Koike, T., Takeuchi, K., Rasmy, M., Onuma, K., Ito, H., Selvarajah, H., Liu, L., Li, X., & Ao, T. (2022). A study on availability of ground observations and its impacts on bias correction of satellite precipitation products and hydrologic simulation efficiency. *J. Hydrol.* 610 (24), 127595 <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127595>.